

# 第一生命本館新築工事にともなう不同沈下量測定報告

高橋 賢之助  
大 藪 征 夫  
(仙台支店)

## §. 1 まえがき

第一生命本館は、図-1に示すように高層部が地下2階・地上18階・塔屋1階、低層部が地下2階・地上4階塔屋2階であって、洪積層上にベタ基礎で新築されたのであるが、この新築工事において高層部・低層部間に生じる不同沈下が懸念されたことは当然である。

この問題は非常に重要であることから、本館床付面下部に存在する砂れき層下の凝灰質粘土層において、圧密

沈下が生じるか否かを検討する目的から、圧密試験を主体とする調査を行ない、その結果圧密沈下は生じないが、不飽和の粘土であり弾性的な体積圧縮を生じることが判明した。

この支持地盤の弾性的変形について、凝灰質粘土の圧密試験結果得られた体積圧縮係数  $m_v$  からその変形係数を  $E=5000t/m^2$  とし、また砂れき層は  $E=15000t/m^2$  とし、検討した結果、高層部にある6通りと低層部にある7通りととの間に、約37mmの不同沈下を生じる結論となった。

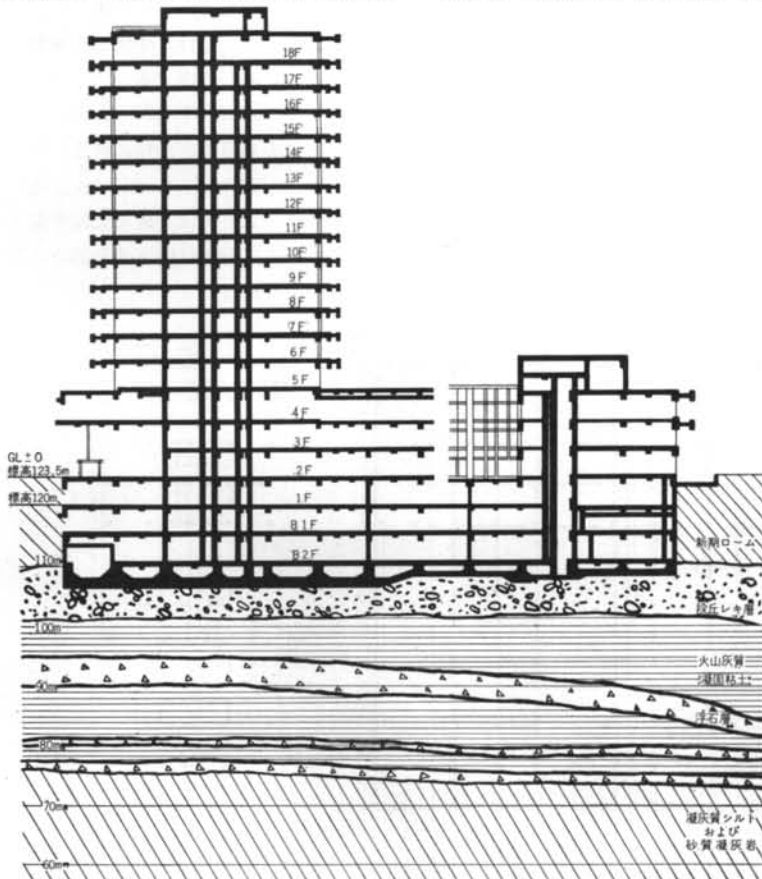


図-1 建物および土層断面

しかしこの結論は、孔径10cm程度のボーリングによって採取した小さな試料の圧密試験結果から得られたものであり、再検討の必要があることから、根切り工事にもなる支持地盤のリバウンド量（浮上がり量）の測定、および本館床付面における地耐力試験が実施された。

その結果、砂れき層の変形は無視し得る程度であり、また凝灰質粘土は  $E=20000t/m^2$  として扱っても大差ないとの結論を得て、約37mmの不同沈下量が7.7mmに修正された。

このように種々の調査を行ない不同沈下量を推定しても、どこまでも推定であって完全なものでないことから、設計においては高層部と低層部との間の取合い部を補強し、実際の工事においては取合い部の基礎バリ・大バリ・耐震壁などの主要構造体コンクリートを、当分の間幅約2m開けて打設し、常にコンクリート打設によって生じる不同沈下量を測定し、その後のコンクリート打設によって生じるであろう不同沈下量を推定し、その推定値が許容限度（この場合1スパン8.1mの1/1200を許容限度と決める、すなわち6.75mm）以内に納まる見通しがついてから開けていた取合い部を打継ぐことにした。

このように細心の注意を払いながら工事を進め、地上10階部分のコンクリートを打設後取合い部を打継ぎ、昭和41年10月無事全館のコンクリート打設が終了した。

本レポートは、この施工管理のために行なった不同沈下量の測定経過結果を取りまとめ若干の考察を加えたものである。

## § 2. 敷地の地盤<sup>1)</sup>

本敷地は、大磯地塊の西北隅に位置する台地上にありG.L.は標高123.5mであって、床付面は高層部がG.L.—16.5m（標高107.0m）低層部がG.L.—15.0m（標高108.5m）である。

本敷地の土層は大略図—1のようになっており、建物は新时期ーム層を掘り抜いて層厚約5mの段丘砂れき層に設置されている。

この砂れき層以深には火山灰質凝固粘土である凝灰質粘土層が厚さ20~25mにわたってたい積しており、それ以深はシルト質または砂質の凝灰岩となっている。

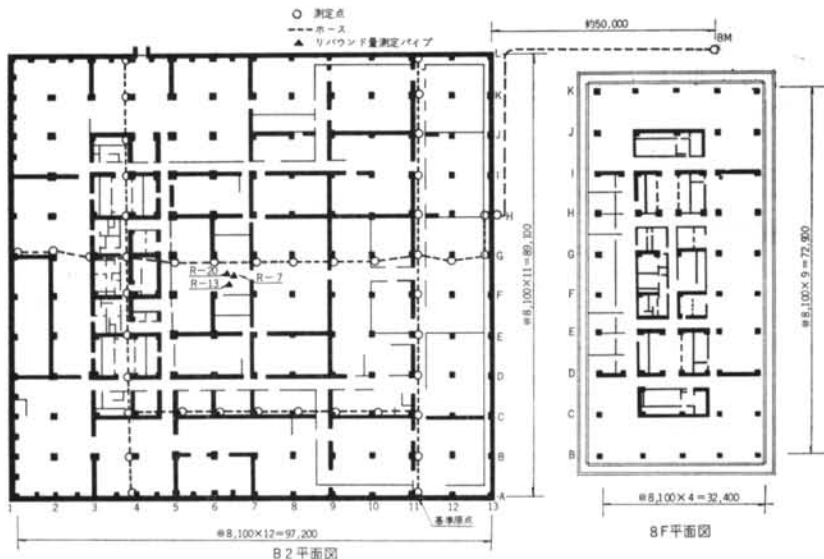
## § 3. 不同沈下量の測定方法および測定位置

構造物の絶対沈下量や不同沈下量を測定する方法には次の2つがある。

- (a) 光学レベルを用いる方法
- (b) 水盛りの原理による方法

この測定においては、建物が高層部と低層部とよりなりその取合い部が問題であって、1スパン間に生じる不同沈下量の許容限度を6.75mmと決めたこと、また地盤が非常に硬質であることから高精度な測定が要求され、筆者考案の清研式ウォーターレベル<sup>2)</sup>を用いることにした。

ウォーターレベルは一般に気温や気圧などの影響を受けることから、測定は地下2階部分で行ない、これらの影響を極力さけるようにした。



図—2 測定点位置図

測定点は、図-2に示すように、高層部を縦断する4通りおよび低層部を縦断する11通り、また、これらと直交して高層部と低層部とをともに横断するG通りおよびC通りの各柱（合計41点）とし、その内11Aの測定点を基準原点と定めた。

これら各測定点の柱には参考文献の<sup>2)</sup>写真-3に示す測定用水管固定埋込み金具を、地下2階スラブ面から1.5mの高さに埋込み、この埋込み金具に同文献写真-2に示す測定用水管をビス止めして固定し、これら各測定用水管を地下2階スラブ下ピットを利用してビニールホースにより連結（斜め配管して）し、測定用水管およびビニールホース内に水を満して測定装置とした。

#### § 4. 不同沈下量測定終了までの経過の概要

この不同沈下量の測定は、地下部分のコンクリート打設終了後開始したのであるが、基礎のコンクリート打設から、全館コンクリートの打設が終了し、その後約2カ月間の変動を見て測定を止めるまでのコンクリート打設時期ならびに打設量、および、この不同沈下量測定に直接関係ある事柄を簡単にまとめたのが表-1である。

#### § 5. 高層部と低層部との間に生じた荷重差

1通りから6通りと7通りとの中間までを高層部、6通りと7通りとの中間から13通りまでを低層部、特に高層部の中で5階以上18階まで建てられた部分を純高層部と名付ける。

現場において記録された鉄骨建方調書およびコンクリート打設量調書より、各階コンクリート打設終了時における鉄骨重量やコンクリート打設量を、それぞれに分割して求めて各部における基礎底面単位面積当りの平均荷重を求め、次に、これらの平均荷重から高層部と低層部との間に生じた荷重差を求めることにした。

ここで、低層部はあまり問題なく平均荷重が求められるが、高層部においては純高層部をどのように扱うかが問題となってくる。すなわち、高層部における地上4階までは問題ないとしても、地上5階以上を高層部全基礎底面で受持つのか、それとも純高層部だけの基礎底面で受持つのか、それともこれらの中間的受持ち方をするか

の3ケースが考えられるが、一応前2者のケースについて求めることにした。

低層部における平均荷重、ならびに地上5階以上の荷重もすべて高層部全基礎底面で受持つケースの平均荷重を実線で、地上5階以上の荷重を純高層部だけの基礎底面で受持つケースの平均荷重を点線で示したのが図-3である。また、高層部・純高層部の平均荷重と低層部の平均荷重との差を図示したのが図-4である。

| 年 月 日             | Co. 打ちおよび不同沈下量測定に関連ある事項 |                     |
|-------------------|-------------------------|---------------------|
| 39. 7.24~39.10.31 | 基礎および継バリCo. 打ち          | 16571m <sup>3</sup> |
| 40. 4.21~40. 5.19 | 地下2階Co. 打ち              | 5294m <sup>3</sup>  |
| 6.15~ 7.14        | 地下1階Co. 打ち              | 5770m <sup>3</sup>  |
| 7.26              | 測定開始。11Aを基準原点とす。これまでに鉄骨 | 6677 t              |
| 7.27~ 8.21        | 地上1階Co. 打ち              | 4961m <sup>3</sup>  |
| 8.23~ 9.22        | 地上2階Co. 打ち              | 3978m <sup>3</sup>  |
| 10. 2~ 11.11      | 地上3階Co. 打ち              | 4287m <sup>3</sup>  |
| 10.18             | 全鉄骨建方終了(4065 t) これまでに   | 10742 t             |
| 11. 1             | 測定装置破損する水漏箇所不明          |                     |
| 11.15~ 12.14      | 地上4階Co. 打ち              | 4897m <sup>3</sup>  |
| 12.17~40.12.27    | 低層部塔屋軽量Co. 打ち           | 355m <sup>3</sup>   |
| 12.23             | ホース・三又を取替え水漏修理終る        |                     |
| 41. 1.10~41. 1.17 | 地上5階Co. 打ち              | 1874m <sup>3</sup>  |
| 2. 4~ 2. 9        | 地上6階Co. 打ち              | 1518m <sup>3</sup>  |
| 2.25~ 3. 2        | 地上7階Co. 打ち              | 1454m <sup>3</sup>  |
| 3.17~ 3.19        | 地上8階Co. 打ち              | 1406m <sup>3</sup>  |
| 4. 5~ 4. 8        | 地上9階Co. 打ち              | 1386m <sup>3</sup>  |
| 4.25~ 4.28        | 地上10階Co. 打ち             | 1425m <sup>3</sup>  |
| 5. 9~ 6. 2        | 高層部・低層部間打継ぎCo. 打ち       | 667m <sup>3</sup>   |
| 5.14~ 5.18        | 地上11階Co. 打ち             | 1281m <sup>3</sup>  |
| 6. 2~ 6. 7        | 地上12階Co. 打ち             | 1404m <sup>3</sup>  |
| 6. 6              | 本館南側約50mの位置にBMを設ける      |                     |
| 6.13              | 絶対沈下量測定に切替え、リバウンドパイプも測定 |                     |
| 6.22~ 6.25        | 地上13階軽量Co. 打ち           | 1323m <sup>3</sup>  |
| 7.11~ 7.13        | 地上14階軽量Co. 打ち           | 1323m <sup>3</sup>  |
| 7.28~ 7.31        | 地上15階軽量Co. 打ち           | 1315m <sup>3</sup>  |
| 8.24~ 8.26        | 地上16階軽量Co. 打ち           | 1324m <sup>3</sup>  |
| 9.13~ 9.15        | 地上17階軽量Co. 打ち           | 1355m <sup>3</sup>  |
| 10. 6~ 10. 9      | 地上18階軽量Co. 打ち           | 1523m <sup>3</sup>  |
| 10.13~ 10.25      | 高層部塔屋軽量Co. 打ち           | 332m <sup>3</sup>   |
| 12.19             | 測定終了す                   |                     |

表-1 測定終了までの経過

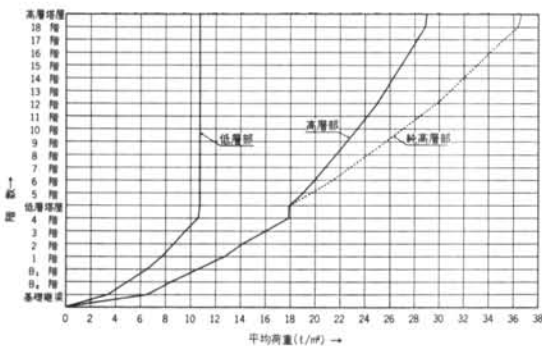


図-3 平均荷重

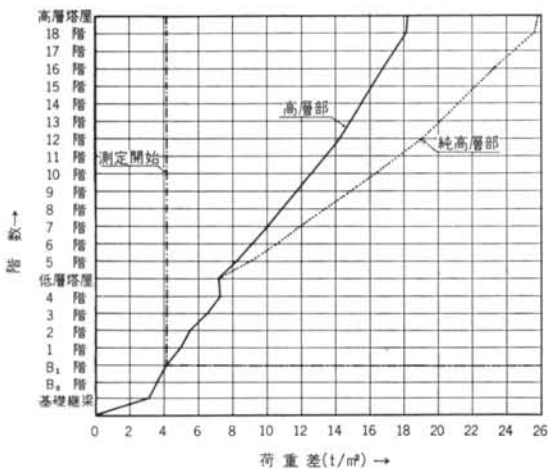


図-4 高層部・低層部に生じた荷重差

ただし、コンクリートの重量は、鉄筋を含めて普通コンクリートの場合は  $2.4t/m^3$ 、軽量コンクリートの場合は  $1.9t/m^3$  とした。また、この平均荷重を求めるための基礎底面積は、高層部は  $3955.5m^2$ 、純高層部は  $2362.0m^2$ 、低層部は  $4674.1m^2$  である。

## § 6. 不同沈下量測定結果

11Aを基準原点とし、各測定点において生じた不同沈下量を、経時変化で示したのが図-5であり、さらに、図-5より不同沈下量を拡大して示したのが図-6(1例として4Gを示す)である。

一般に、各階コンクリート打設によって生じる絶対沈下量を経時変化で示すと図-7(a)に示すように、地盤やぐいの載荷試験における経過時間～沈下量曲線のようになるはずである。本測定の場合のように、その建物内の1点を基準原点とした不同沈下量の場合には、コンクリートの打設が一瞬に行なわれるか、数日かかるかに

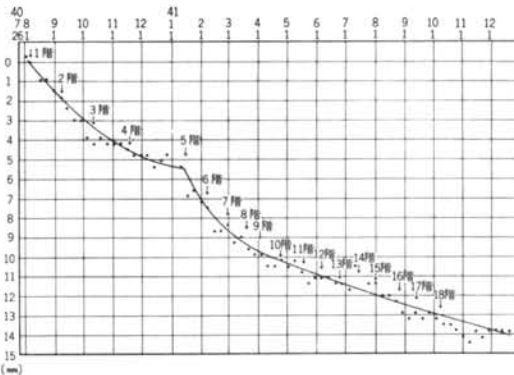


図-6 不同沈下量経時変化拡大図(4G)

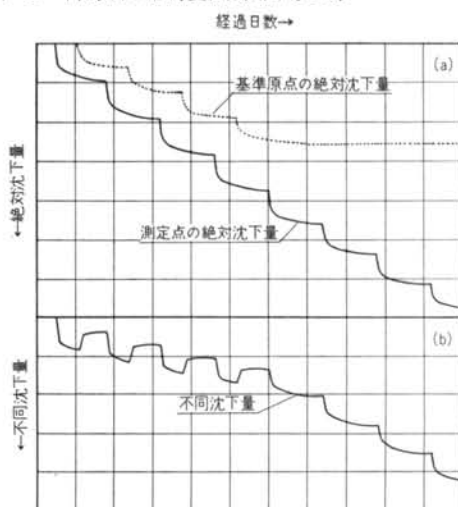


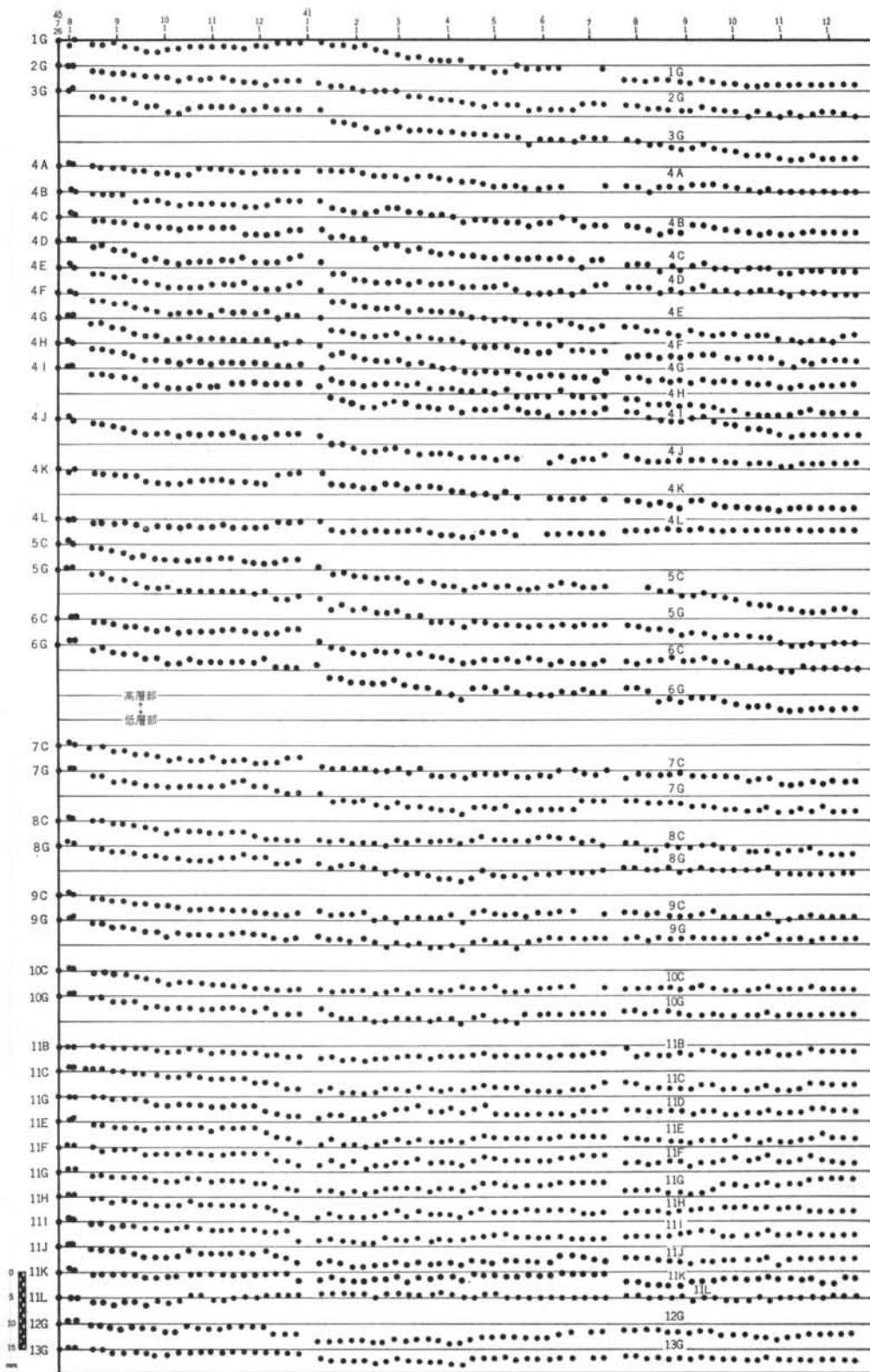
図-7 絶対沈下量と不同沈下量

よって異なってくる。

すなわち、各階のコンクリートが、その打設日において一瞬にして打設された場合には、不同沈下量の経時変化も絶対沈下量の場合と同じような形になる。しかし、各階のコンクリート打設に数日要する場合には、図-7(b)に示すようになるはずである。

本建物の場合表-1に示したように各階のコンクリート打設に要した日数は、地上1階から地上4階までが26～41日、地上5階以上が3～8日であり、このための凸凹と測定計器の精度、それに気温や気圧の変化による誤差などが加わって、図-6に見られるようにバラツキのあるものとなったのである。

この経時変化の図を見ると、高層部においては昭和40年10月初めから12月末までの約2カ月間の測定結果が、それ以前に比較して不同沈下の進行度合が小さく、それ以後昭和41年2月末までの約2カ月間は進行度合が大きくなっている。また、低層部においては11通りおよびそ



图—5 各测定点不同沉下量経時変化





この期間中における水位の低下状況は、あらかじめ定めた測定日（毎週月曜日）に装置内の水位を観察すると、前回の測定日には十分入っていた水が極端に減少しており、測定不能となっていたのである。この水位低下量と1回の測定に要する時間から、水漏れの影響も相当に大きい（最大1mm程度）ものと判断された。

しかし、図一7に示したように高層部と低層部のコンクリートが打設されている時期と、高層部だけのコンクリートが打設されている時期では、不同沈下量の時間に対する進行状態が異なり、図一6に示したようなスムーズ曲線を引いてもそう大きな誤差は生じないものと考えられ、この曲線から各階コンクリート打設終了時における不同沈下量を求めることにした。

この求めた結果を表一2に、また、地上4階、地上10階ならびに全館コンクリート打設終了時における不同沈下量を、建物平面に示したのが図一8である。

これによると、4通りならびに11通りは、中央部ほど大きく端部ほど小さい丸味を帯びた理想的不同沈下曲線を示しており、また、C通りならびにG通りは、低層部の高層部寄りが高層部の影響を受けて大きく、高層部の中でもその中央（4Cや4G）が大きいのではなく、やはり、低層部の影響を受けてか、1スパン低層部寄りの

5Cや5Gが大きくなって、これまた理想的不同沈下曲線といえる。

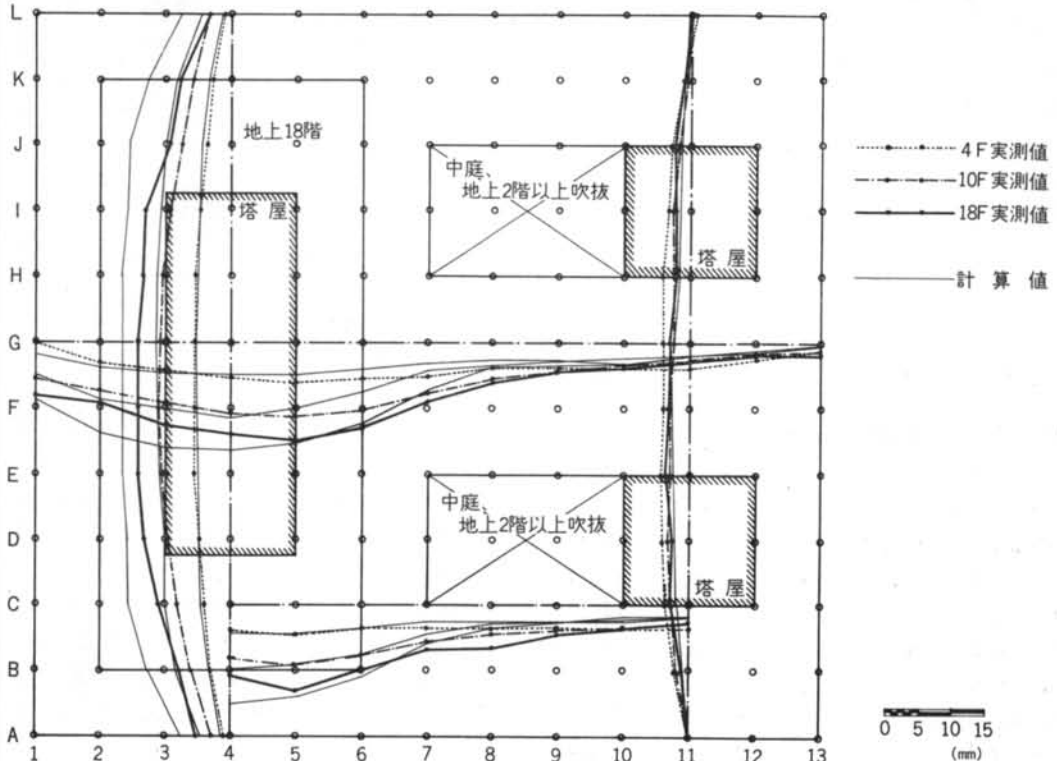
この測定を開始した地下部分コンクリート打設終了から、全館コンクリート打設終了約2カ月後までに生じた各測定点不同沈下量の内、最も大きな不同沈下量を示したのは5Gの15mmである。

また、低層部においては、地上4階および塔屋のコンクリート打設終了時より、高層部の地上10階ならびに全館コンクリート打設終了の時期の方が不同沈下量が小さくなっている。これは内外装工事の影響によるものと考えられる。

### § 8. 不同沈下量の実測値と計算値との比較

この測定を開始した後生じるであろう11Aを基準原点とした各測定点の不同沈下量を、ブーシネスクの式および凝灰質粘土の変形係数 $E=2000\text{kg/cm}^2$ ならびに図一3に示した実線を用い、砂れき層および凝灰岩の変形を無視して求め、これも図一8に示した。

これによると、地上4階コンクリート打設終了時にお



図一8 不同沈下量の実測値と計算値との比較

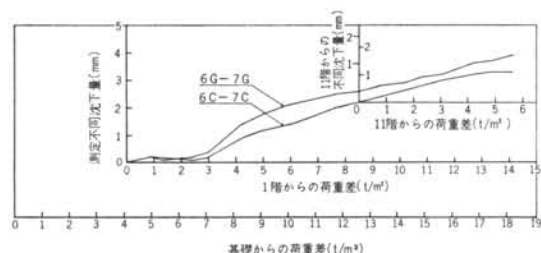
いては、高層部においてほぼ一致しているのに対し、低層部は計算値が小さく、地上10階コンクリート打設終了時においては、高層部中央においてほぼ一致しているが端部は計算値が大きく、全館コンクリート打設終了時においては計算値が全般的に大きくなっている。

また、実測による不同沈下量曲線が丸味を帯びているのに対して、計算値は台形に近い感じの曲線となっている。これは、計算に当って採用した建物の平均荷重を図一3に示した実線の値を用いたこと、また、建物の剛性が無視されていることによるものと思われる。

低層部において計算値より実測値が大きいのは、計算に当って等分布荷重として扱っているのに対し、実際にはべた基礎とはいうものの図一1に見られるような底版が高層部の底版に比較して薄く、柱下の地盤反力が柱間底版下の地盤反力より大きくなるためと考えられる。高層部において階数が多くなるにしたがって実測値が計算値より小さくなったのは、低層部における内外装工事の影響があるのではないかとも思われる。

## § 9. 高層部低層部間に生じた不同沈下量

高層部の低層部寄り6Gならびに6Cと、低層部の高層部寄り7Gならびに7Cとの間に生じた不同沈下量を、高層部と低層部との間に生じた荷重差について示したのが図一9である。



図一9 高層部・低層部間に生じた不同沈下量

これによると、地下部分コンクリート打設終了後全館コンクリート打設終了までに生じた不同沈下量は、6G～7G間で、3.9mm、6C～7C間で3.3mmである。

また、約2m開けてコンクリートを打設していた基礎バリ・大バリ・耐震壁を打継いだのは、地上10階コンクリート打設終了後であるが、その後全館コンクリート打設終了までに生じた不同沈下量は、6G～7G間で1.3mm、6C～7C間で1.1mmであった。

この値は、目標とした許容限度6.75mmの約1/5であり、今後多少の荷重増加があっても十分許容限度内にあるも

のといえることができる。

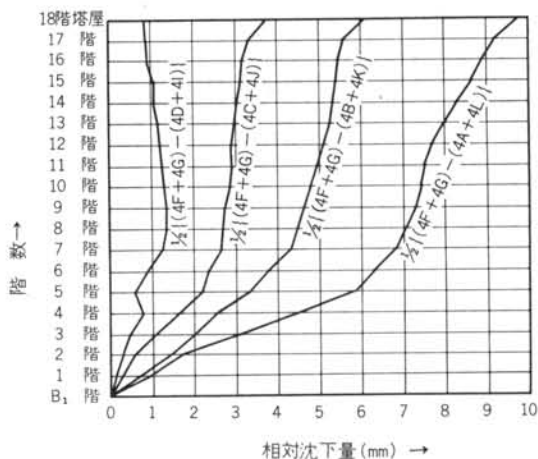
図一9に示した不同沈下量は荷重差に対して完全な直線とはいえない。特に地上4階および低層部塔屋コンクリート打設終了までの不同沈下量が小さいが、一応地上10階コンクリート打設終了までを直線と見なして逆に延長し、基礎のコンクリート打設から、全館コンクリート打設終了までの不同沈下量を求めてみると、6G～7G間で約5.3mm、6C～7C間で約4.4mmである。

この5.3mmは、リバウンドの測定結果推定した7.7mmの69%、目標とした6.75mmの82%に当たる。

## § 10. 高層部内における相対沈下量

高層部を縦断する4通りにおいて、階数が増すにしたがって相対沈下量がどのような傾向で増加するかを調べてみる。

すなわち、表一2において4F・4Gの平均の不同沈下量と、4A・4Lの平均の不同沈下量との差、同様にして4F・4Gと4B・4Kの差というように、相対沈下量を求め図示したのが図一10である。



図一10 高層部内相対沈下量

これによると地上7階程度までは相当急激に相対沈下量が増加するが、それ以上においては急激な増加とはいえないようである。

一般常識からいっても階数が増すにしたがって剛性が増すことになり、当然のことではあるが、地下部分も含めて10階位までの間に相対沈下の大部分が発生し、それ以上はさほど大きくならないといえそうである。



## § 11. 地上12階コンクリート打設後における絶対沈下量および地盤変位量の測定

この不同沈下の測定を開始する時から絶対沈下量を測定するのが理想的であったが、工事の関係から測定できず地上12階コンクリート打設終了後測定した。また、支持地盤のリバウンド量を測定していた3本のパイプ（基礎底版から7m・13m・20mの深さの変位量を測定する目的で6Gの近くに2重管を入れてある）R-7・R-13・R-20も測定した。

その装置は、低層部13Lから約50mの位置に、全長3.2mの50kg/mレールを新期ローム層に1.5m打込み、これを不動点（B.M）とし、このレールおよび地上2階部分13H、ならびに地下2階部分13Hに、不同沈下量測定と同様に測定用水管を取り付け、B.Mと地上2階部分13H、地下2階部分13Hと測定点13Gとを、それぞれビニールホースで接続し、また、3本のパイプにも測定用水管を取り付けて測定点6Gと接続したものである。

これによって地上13階以上のコンクリート打設によって生じる各測定点の絶対沈下量、また、支持地盤の変位量が測定できることになった。

この装置によって測定された結果の内、不同沈下量測定の基準原点11Aならびに測定点6Gの経時変化を図-11に、また、支持地盤変位量測定の3本のパイプの経時変化を図-12に示す。

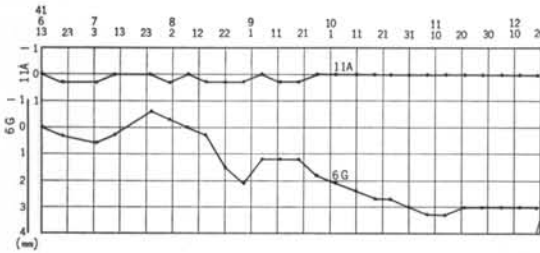


図-11 基準原点11Aと測定点6Gの絶対沈下量経時変化

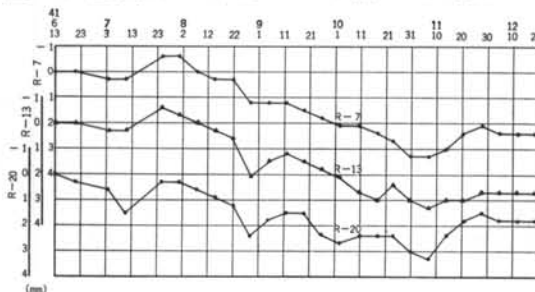


図-12 リバウンド量測定パイプの絶対沈下量経時変化

11Aの結果によると、地上12階コンクリート打設終了

後は、全く沈下を生じていないと見ることができる、このことから、地上12階のコンクリートを打設してから全館のコンクリート打設終了までに生じた各測定点における絶対沈下量は、表-2に示した各階のコンクリート打設によって生じた不同沈下量の内、地上13階以上の値から地上12階の値を差引いた値となり、最も大きな不同沈下量を示した5Gでさえ、わずかに3.0mmである。

6GならびにR-7・R-13・R-20の結果は、除々に沈下が進行していることがわかる。しかし、この図からではどの深さの土の圧縮によって沈下しているかは明らかでない。これを明らかにするには、6Gの沈下量と3本のパイプの沈下量の差を求めればよい。3本のパイプの沈下量から6Gの沈下量をそれぞれ差引き図示したのが図-13である。

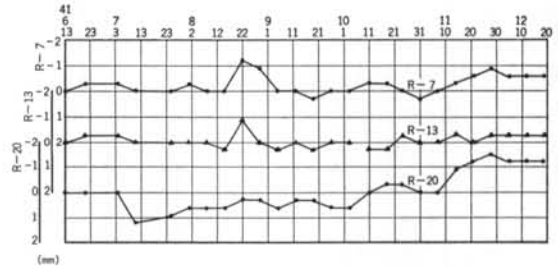


図-13 リバウンド量測定パイプの絶対沈下量と測定点6Gの絶対沈下量との差〔R-n〕-6G

これによると、R-7ならびにR-13は6Gとほぼ同じ沈下量を示したことになるが、R-20は6Gより沈下量の少なくなる傾向が見られる。したがって、地上13階以上のコンクリート打設によって生じた沈下は、基礎底版下13m以深の土層の圧縮によると見ることができる。

## § 12. 結果の整理

以上若干の考察を加えながら本建物の不同沈下量測定結果について述べてきたが、これを簡単に整理してみると次のようになる。

① 第一生命ビル新築工事において、高層部と低層部との間に生じた躯体工事による荷重差は、約18.3t/m<sup>2</sup>であり、純高層部として扱った場合は約25.9t/m<sup>2</sup>である。また、不同沈下量の測定を開始した地下部分のコンクリート打設終了後からは、それぞれ約14.1t/m<sup>2</sup>、21.8t/m<sup>2</sup>である。

② 基準原点11Aを基準とした各測定点の不同沈下量測定結果、最大値を示したのは高層部中央ではなく、1スパン低層部寄りである。また、その不同沈下量は地上1

階以高全館コンクリート打設終了までで15mmである。

③ リバウンドの測定結果得られた地盤の変形係数を用いての計算値と、清研式ウォーターレベルを用いての実測値とを比較すると、高層部においては地上4階コンクリート打設終了時においてほぼ一致するが、それ以高においては実測値が計算値より小さくなる。また、低層部においては地上4階塔屋2階コンクリート打設終了時において、実測値が計算値より大きい、これは基礎底版の厚さに関係するものと思われる。

④ 高層部と低層部との接続部における1スパン間において生じた不同沈下量は、地上10階のコンクリート打設終了まで基礎バリ・大バリ・耐震壁を幅約2m開けていたのであるが、測定を開始してから全館コンクリート打設終了までに3.9mmであり、また、これらを打継いでからは1.3mmである。

⑤ 高層部において地上7階コンクリート打設終了までは、相対沈下量が相当急激に進行したが、それ以高においては急激とはいえない。この建物は地下2階であるから、せいぜい10階程度で相対沈下量の大部分が発生しそれ以高ではさほど大きくなりなないだろう。

⑥ 地上12階コンクリート打設終了後、不同沈下量測定のための基準原点11Aは全く沈下していない。この期間中において最も大きな絶対沈下量を生じたのは5Gで3.0mmである。また、この沈下は基礎底版下13m以深の土層の圧縮によると見られる。

⑦ この他、本建物には直接関係ないことではあるが、清研式ウォーターレベルを採用したことにより、今までにない高精度な測定ができることがわかったこと、また、この清研式ウォーターレベルが開発されるまで用い

られていたテルツァギ式ウォーターレベルでは、本測定のように40点もの測定点をただ1回測定するにも、3人がかりで1～2日必要であったものが、足場が悪かったにもかかわらず1人で2時間程度あればよかったことなどがあげられる。

### § 13. あとがき

以上が第一生命ビル新築工事に際して生じた不同沈下量の測定報告である。

本建物の場合、工事の関係から絶対沈下量の測定ができなかったこと、また、測定装置が破損されて水漏れが生じ判断に苦しむ結果になったことなどが残念である。

建物各点の絶対沈下量測定記録には、構造物の沈下を解明するすべての「かぎ」が隠されているものと考えられる。今後絶対沈下量の測定を行ない、構造物沈下の解明に役立てたいものである。

しかし、この不同沈下量測定結果にも、これまで加えた考察以外にまだまだ多くの「かぎ」が隠されているはずである。この測定報告が構造物の沈下の解明に少しでも役立つことができれば幸である。

最後に、この不同沈下量測定については、第一生命本社建設部鳥井捨蔵部長を始め、関沢義雄課長ならびに伊藤宗文課長のご指導によるところが多かったこと、また、清水一竹中工事事務所の諸氏、および竹中工務店技術研究所遠藤正明氏などの助力によったことを記し、感謝いたします。

#### <参考文献>

- 1) 遠藤正明, 川崎孝人, 幾田悠康: “不飽和粘土の体積変化性状” 土質工学会第10回シンポジウム 昭和40年11月
- 2) 高橋賢之助: “ウォーターレベルについて” 清水建設研究所報第7号 昭和41年4月